



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ZDROJE TEPLA PRO BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU
SPOTŘEBOU ENERGIE**

HEAT SOURCES FOR NEARLY ZERO-ENERGY BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ján Zábovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Ján Zábovský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zdroje tepla pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podle nařízení Evropského parlamentu 2010/31/EU bude možné od roku 2020 stavět pouze budovy s téměř nulovou spotřebou energie a tedy s nízkými měrnými spotřebami tepla na vytápění. V případě rodinných to povede k požadovaným výkonům tepelných zdrojů v jednotkách kilowatů, které se však na současném trhu objevují pouze sporadicky.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést rešerši technických možností vytápění rodinných domů s téměř nulovou spotřebou energie a nalezené technologie vzájemně porovnat.

Seznam literatury:

NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS DEFINITIONS ACROSS EUROPE [online]. [cit. 2016-11-04].

Dostupné z:

http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf

Heating and cooling challenge in nZEB. REHVA: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations [online]. Brussel [cit. 2016-11-04]. Dostupné z:

<http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2011/032011/heating-and-cooling-challenge-in-nzeb.html>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou vykurovania budov s takmer nulovou spotrebou energie. Je rozdelená do troch častí. V prvej časti sa venuje definícii samotného pojmu a jej rôznym podobám v rámci krajín Európskej únie, pri čom najväčší dôraz kladie na Českú a Slovenskú republiku. V ďalšej časti práca sumarizuje rôzne typy systémov a zariadení, ktoré sa priamo či nepriamo podieľajú na udržiavaní tepelného komfortu v interiéri budov. Následne posudzuje ich aplikovateľnosť na budovy s takmer nulovou spotrebou energie. Záverečná časť práce pozostáva z návrhu viacerých variantov vstupných parametrov pre zvolený modelový dom. Pre každý z variantov je navrhnutý vhodný zdroj tepla.

Kľúčové slová

budova s takmer nulovou spotrebou energie, energetická náročnosť, primárna energia, súčiniteľ prestupu tepla, potreba tepla

Abstract

This bachelor's thesis deals with the topic of heat sources for nearly zero energy buildings. It is divided into three parts. The first part of the thesis describes the term „nearly zero energy buildings“ and its differences across European union and especially Czech and Slovak republic. The next part summarizes various types of systems and devices, which are directly or indirectly involved in maintaining interior thermal comfort. It also assesses their applicability to buildings with nearly zero energy consumption. The final part of the thesis consists of the design of several input parameters for the selected model house. A suitable heat source is suggested for each of the variants.

Key words

nearly zero energy building, energy performance, primary energy, u-value, heat requirement

Bibliografická citácia

ZÁBOVSKÝ, J. Zdroje tepla pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D..

Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Zdroje tepla pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie“ vypracoval samostatne, s využitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa:

Podpis:

Pod'akovanie

Týmto by som sa chcel poďakovať Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za vedenie mojej bakalárskej práce, cenné rady, ústretový a priateľský prístup. Taktiež by som sa chcel touto cestou poďakovať všetkým, ktorí ma počas štúdia podporovali.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Úvod do problematiky	11
2.1	Energetická náročnosť budovy	12
2.2	Nízkoenergetické domy	13
2.3	Budova s takmer nulovou spotrebou energie	14
2.4	nZEB v Českej republike a na Slovensku	16
3	Zdroje tepla	17
3.1	Kotol na zemný plyn.....	17
3.2	Kotol na biomasu.....	18
3.3	Elektrický kotol	19
3.4	Tepelné čerpadlo.....	20
3.4.1	TČ vzduch /voda	21
3.4.2	TČ voda / voda	21
3.4.3	TČ vzduch /vzduch.....	21
3.4.4	TČ zem / voda	22
3.5	Kotol na tuhé fosílné palivá.....	22
4	Porovnanie	23
5	Rekuperácia tepelnej energie	24
5.1	Výmenník tepla do odpadového potrubia.....	24
5.2	Sprchová vanička s integrovaným výmenníkom tepla	25
5.3	Rekuperácia tepla z odpadovej vody s akumulácnou nádržou splaškovej vody s integrovaným výmenníkom	25
5.4	Rekuperácia tepla riadeným vetraním	25
6	Zariadenia slúžiace na výrobu elektrickej energie.....	27
6.1	Vodná turbína	27
6.2	Fotovoltaické panely.....	28
7	Budova ako celok.....	30
8	Návrh zdrojov tepla pre modelový dom	31
9	Záver	37
10	Zoznam použitých zdrojov	39
11	Zoznam použitých skratiek a symbolov	42

1 Úvod

To, že dnes žijeme v technicky veľmi vyspelej dobe, je najmä v našej geopolitickej oblasti možné asi len veľmi ťažko spochybniť. V dôsledku výrazného technického aj mentálneho rozvoja ľudstva sa obraz sveta za posledné dve storočia rapídne zmenil. Výdobytky modernej techniky nás obklopujú takmer neprestajne a otvárajú nám možnosti, ktoré by boli pred niekoľkými desaťročiami či storočiami čírou fikciou. To všetko so sebou však prinieslo aj isté negatíva, ktoré je nutné riešiť.

Jedným z nich je aj v posledných rokoch do popredia sa dostávajúci problém, ktorým je znečistenie životného prostredia. Rozvoj priemyslu a s ním spojené spaľovanie fosílnych palív zapríčinilo nahromadenie veľkého množstva skleníkových plynov (najmä CO_2) v atmosfére, ktoré spôsobujú globálne otepľovanie. Globálne otepľovanie sa stalo jedným z najväznejších problémov ľudstva v súčasnej dobe a je nevyhnutné tento problém nejakým spôsobom riešiť. Keďže budovy spotrebujú v Európskej únii viac ako 40 % energie a sú zodpovedné za 36 % skleníkových plynov [1], jedným z mnohých riešení je aj znižovanie ich energetickej náročnosti. Tento trend je možné pozorovať v oblasti stavebníctva už od osemdesiatych rokov minulého storočia [2]. V posledných rokoch je však postupne definovaný a do praxe zavádzaný nový pojem, ktorý posúva snahu o znižovanie energetickej náročnosti budov na novú úroveň. Týmto pojmom je budova s takmer nulovou spotrebou energie. V mojej bakalárskej práci by som rád tento pojem priblížil a pokúsil sa zistiť, aké zdroje tepelnej energie sú vhodné na udržanie tepelného komfortu.

2 Úvod do problematiky

Ako bolo už v úvode tejto práce spomenuté, znižovanie energetickej náročnosti budov je už dlhotrvajúci trend. Za vyvrcholenie tohto trendu je možné považovať budovu s takmer nulovou spotrebou energie (z anglického „*nearly zero energy building*“ ďalej len „*nZEB*“). V úvode však spomenuté nebolo, prečo sa pre občanov Európskej únie stal takým dôležitým.

Európsky parlament je jednou z inštitúcií, ktorá môže mať a má veľký vplyv na riešenie problematiky globálneho otepľovania. Toto tvrdenie dokazuje aj nariadenie „*Energy performance of Buildings Directive (EPBD 2010/31/EC)*“ [1] vydané Európskym parlamentom. Toto nariadenie zaväzuje členské štáty Európskej únie k tomu, aby spĺňali všetky budovy postavené po 31. 12. 2020 status budovy s takmer nulovou spotrebou energie. Pre budovy, v ktorých sídlia alebo ktoré vlastní verejné orgány platí toto nariadenie od 31. 12. 2018, no v niektorých špeciálnych prípadoch sa môžu členské štáty rozhodnúť neuplatniť požiadavky na budovy s takmer nulovou spotrebou energie. Taký špeciálny prípad nastane, ak analýza ekonomickej efektívnosti danej budovy počas ekonomického životného cyklu bude záporná [3]. Opatrenia spojené so znížením spotreby energie v Únii spolu so zvýšeným využívaním energie z obnoviteľných zdrojov by umožnili, aby EÚ splnila Kjótsky protokol k Rámcovému dohovoru Organizácie Spojených národov o zmene klímy (UNFCCC), svoj dlhodobý záväzok udržať globálne zvýšenie teploty pod 2 °C a svoj záväzok znížiť do roku 2020 celkové emisie skleníkových plynov minimálne o 20 % pod úroveň z roku 1990 a o 30 % v prípade dosiahnutia medzinárodnej dohody.[1] Na ten po roku 2020 nadviaže Parížska dohoda, ktorú podpísalo takmer 200 štátov. Jej cieľom je zastaviť nárast priemernej teploty výrazne pod 2 °C vzhľadom k predindustriálnej úrovni. Je snaha dokonca zastaviť nárast až na hodnote 1,5 °C.[8] Parížska dohoda je výnimočná tým, že ju podpísali aj Spojené štáty americké, Čína a India, čiže štáty, ktoré patria medzi najväčších emitentov skleníkových plynov na svete.

Pred samotným riešením problematiky výroby tepla pre nZEB, je vhodné objasniť niektoré pojmy, s ktorými je problematika energetickej náročnosti budov spojená.

Budovou rozumieme zastrešenú stavbu, v ktorej sa energia využíva na úpravu vnútorného prostredia.[1]

Primárnou energiou rozumieme energiu z obnoviteľných aj neobnoviteľných zdrojov, ktorá ešte neprešla procesom konverzie ani transformácie.

Faktor primárnej energie je bezrozmerné číslo, ktoré charakterizuje spôsob transformácie energetického nosiča. Jeho hodnota sa dá vyjadriť ako množstvo kWh energie z neobnoviteľných zdrojov potrebnej na výrobu 1 kWh tepelnej energie slúžiacej na udržiavanie tepelného komfortu budovy.[1]

Obnoviteľnými zdrojmi energie rozumieme nefosílné zdroje, ktorými sú veterná, solárna, aerotermálna, geotermálna, hydrotermálna energia a energia oceánov, vodná energia, biomasa, skládkový plyn, plyn z čistiarní odpadových vôd a bioplyny.[1]

Obálkou budovy rozumieme integrované prvky budovy, ktoré oddelujú jej vnútro od vonkajšieho prostredia.[1]

Vzduchotesnosťou rozumieme schopnosť obálky budovy zabráňovať samovoľnej výmene vzduchu z vnútra budovy s tým z vonkajšieho prostredia. Overuje sa podľa takzvanej celkovej intenzity výmeny vzduchu n_{50} pri tlakovom rozdieli 50 Pa [h^{-1}] (viď nasledujúci vzťah)

$$n_{50} = \frac{V_{50}^*}{V}$$

kde

V_{50}^* je objemový tok vzduchu pri tlakovom rozdieli 50 Pa [m^3/s]

V je objem vnútorného vzduchu meranej budovy alebo meranej ucelenej časti budovy [m^3]
[4]

Tepelnou priepustnosťou sa hodnotí schopnosť obálky zabráňovať tepelným stratám a to v závislosti na tzv. súčiniteli prechodu tepla U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]. Vyjadruje množstvo tepla, ktoré unikne konštrukciou s plochou 1 m^2 pri rozdieli teplôt jej povrchov 1 K . [7]

2.1 Energetická náročnosť budovy

Tento výraz vznikol z anglického termínu „energy performance of buildings“, čo sa dá preložiť ako energetické chovanie budovy. Vyjadruje množstvo energie skutočne spotrebovanej alebo odhadovanej na splnenie potrieb spojených so štandardizovaným užívaním budovy. To v Českej republike zahŕňa vykurovanie, prípravu teplej vody, chladenie, vetranie a osvetlenie. Energia spotrebovaná technologickými zariadeniami nie je pri výpočte energetickej náročnosti (ďalej len „EN“) budovy zohľadnená a to aj napriek tomu, že sa ich účinok prejaví v podobe tepelných ziskov spôsobujúcich zvýšenie potrebnej energie na chladenie, prípadne zníženie potrebnej energie na vykurovanie. Pri výpočte EN sa počíta tzv. referenčná hodnota EN. Tá je vypočítaná pre tzv. referenčnú budovu, ktorá má rovnaké umiestnenie, funkciu, veľkosť apod., pričom parametre ako úroveň izolácie či účinnosť vykurovacieho systému sú stanovené referenčnými hodnotami. Výpočet prebieha v dvoch fázach. Prvá predstavuje zadanie, výpočet a výstupy pre hodnotenú budovu. Druhá predstavuje zadanie, výpočet a výstupy pre budovu referenčnú. Pri samotnom hodnotení EN sa posudzujú nasledujúce faktory: celková primárna energia za rok, neobnoviteľná primárna energia za rok, celková dodaná energia za rok, priemerná hodnota súčiniteľa U , U pre jednotlivé konštrukcie na systémovej hranici, účinnosť technických systémov a čiastkové dodané energie pre technické systémy na vykurovanie, chladenie, vetranie, úpravu vlhkosti vzduchu, osvetlenie a prípravu teplej vody za rok. Pre uvedené faktory sú zadefinované triedy EN, do ktorých sa hodnotená budova zaradi. [5]

Pri hodnotení energetickej náročnosti na Slovensku sa postupuje podľa tepelnotechnickej normy STN 73 0540-2:2012 rovnako ako v zmysle zákona č. 555/2005 Z. z. v znení neskorších predpisov a vyhlášky MDVRR SR č. 364/2012 Z. z. Pri výpočte sa hodnotí zvlášť spotreba energie určenej na vykurovanie, prípravu teplej vody, nútené vetranie a chladenie, celková potreba energie v budove a globálny ukazovateľ, ktorým je primárna energia (viď

tabuľka 1.2). Pre každý z daných parametrov existuje tabuľka s hodnotami, podľa ktorých sa budova začlení do energetickej triedy A0, A1, B, C, D, E, F alebo G. [9]

	Kategórie budov	Triedy energetickej hospodárnosti budovy							
		A0	A1	B	C	D	E	F	G
Globálny ukazovateľ – primárna energia	rodinné domy	≤ 54	55–108	109–216	217–324	325–432	433–540	541–648	> 648
	bytové domy	≤ 32	33–63	64–126	127–189	190–252	253–315	316–378	> 378
	administratívne budovy	≤ 61	62–122	123–255	256–383	384–511	512–639	640–766	> 766
	budovy škôl a školských zariadení	≤ 34	35–68	69–136	137–204	205–272	273–340	341–408	> 408
	budovy nemocníc	≤ 98	99–197	198–393	394–590	591–786	787–982	983–1179	> 1179
	budovy hotelov a reštaurácií	≤ 82	83–164	165–328	329–492	493–656	657–820	821–984	> 984
	športové haly a iné budovy určené na šport	≤ 46	47–92	93–181	182–272	273–362	363–453	454–543	> 543
	budovy pre veľkoobchodné a maloobchodné služby	≤ 107	108–213	214–425	426–638	639–850	851–1062	1063–1275	> 1275

Tab. 1 Škála energetických tried globálneho ukazovateľa – primárnej energie v $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ [9]

2.2 Nízkoenergetické domy

Pri riešení problematiky budov s takmer nulovou spotrebou energie je nutné spomenúť aj pojmy ako nízkoenergetický či pasívny dom. Tieto pojmy sú si veľmi blízke, preto je vhodné ich zadefinovať a tým aj poukázať na ich rozdiely.

Nízkoenergetickým domom rozumieme budovu určenú na bežné účely s obzvlášť nízkou spotrebou mernej energie na výrobu tepla – nízkou v porovnaní s dnes bežnou spotrebou energie. Ako nízka je pri tom označovaná hodnota mernej potreby tepla na vykurovanie do $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. (v tabuľke referenčných hodnôt energetickej náročnosti pre jednotlivé klasifikačné triedy sa jedná o triedu A, resp. A0). Toto kritérium sa používa bez ohľadu na tvar budovy. Pri menej členitom tvare bude ale pochopiteľne daný cieľ ľahšie dosiahnuteľný.



Obr. 1 Nízkoenergetický dom od firmy Nesbau ($50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$) [10]

Pasívny dom je pokročilým variantom nízkoenergetického domu. Jeho ročná potreba mernej energie na vykurovanie smie byť maximálne $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Toto však nie je jedinou požiadavkou, ako to býva niekedy chybne interpretované. Ďalším veľmi dôležitým parametrom, ktorý musí pasívny dom spĺňať je aj celková vzduchotesnosť budovy (hodnota $n_{50} 0,6 \text{ h}^{-1}$). Zároveň celkové množstvo primárnej energie určenej na prevádzku budovy (vykurovanie, ohrev teplej vody, elektrická energia pre spotrebiče a osvetlenie) nesmie presiahnuť hodnotu $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. V praxi sa často objavujú aj budovy, ktoré sa veľmi blížia pasívnym domom, ale z nejakého dôvodu nesplnili všetky podmienky na to, aby mohli byť termínom pomenované. Dajú sa však označiť ako „takmer pasívne domy“ či „domy s veľmi nízkou potrebou tepla“.



Obr. 2 Pasívny dom od firmy Createrra ($13,9 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$, $n_{50}=0,26 \text{ h}^{-1}$) [11]

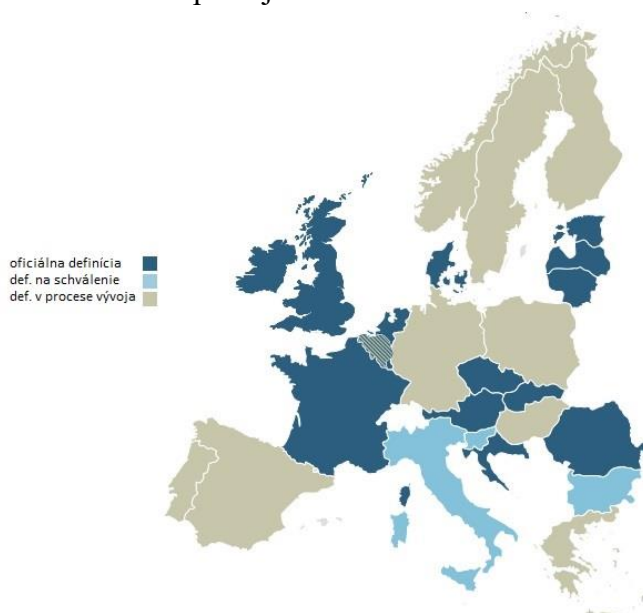
V literatúre môžeme často natrafiť aj na pojem „nulový dom“ alebo „dom s nulovou potrebou tepla“. Jedná sa väčšinou o domy, ktoré majú potrebu tepla blížiacu sa nule (do $5 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$). Je možné dokonca navrhnuť aj taký dom, ktorý vyprodukuje viac energie ako je sám schopný spotrebovať. Zo spotrebiča sa teda stáva zdroj elektrickej energie. V takomto prípade sa spravidla jedná o pasívny dom, pri ktorom bol použitý aj veľkoplošný fotovoltaický systém na výrobu elektrickej energie.[4]

2.3 Budova s takmer nulovou spotrebou energie

Pojem „nearly zero energy building“ nie je v EPBD presne definovaný. Je popísaný ako budova s veľmi vysokou hodnotou energetickej výkonnosti, kde veľmi malé, prípadne takmer nulové množstvo energie potrebné na jej chod, by malo byť pokryté z obnoviteľných zdrojov. Tá by mala byť produkovaná na mieste, prípadne v neďalekej blízkosti. Členské štáty sú si povinné zadefinovať presné znenie definície pojmu nZEB samé.

Európsky inštitút zaoberajúci sa výkonnosťou budov (*Buildings Performance Institute Europe*) zverejnil v apríli roku 2015 dokument, v ktorom sumarizuje rôzne koncepcie a indikátory používané členskými štátmi EÚ a Nórskom na zadefinovanie pojmu nZEB pre nové a existujúce budovy. Jednotlivé členské štáty sa nachádzajú v rôznej fáze procesu.

Niektoré majú daný pojem už oficiálne zadefinovaný, niektoré čakajú na oficiálne schválenie definície a niektoré na definícii zatiaľ pracujú.



Obr. 3 Stav nZEB definícii pre nové budovy.[3]

Vo väčšine krajín je hlavným indikátorom pri definovaní nZEB množstvo potrebnej primárnej energie. V niektorých krajinách (ako napr. Holandsko a Flámsky región v Belgicku) je budova ohodnotená bezrozmerným koeficientom porovnávajúcim jej potrebu primárnej energie s referenčnou budovou s podobnými charakteristikami (napr. geometria budovy). Vo viacerých krajinách (napr. Veľká Británia, Španielsko a Nórsko) sú ako hlavný indikátor použité emisie oxidu uhličitého, zatiaľ čo v iných krajinách sú emisie CO₂ použité ako indikátor vedľajší (napr. Rakúsko a Rumunsko).

Pri obytných budovách je vo väčšine prípadov snaha nepresiahnuť v spotrebe primárnej energie hodnotu 50 kWh/(m²·rok). Často sa požiadavky líšia v závislosti od typu obytnej budovy (bytovka, samostatný rodinný dom). Pre regióny s chladnejším podnebím (Francúzsko, Rumunsko) sú stanovené vyššie hodnoty primárnej energie ako pre regióny s teplejšími klimatickými podmienkami.

Požiadavky na neobytné budovy môžu nadobúdať podstatne širší rámec hodnôt v závislosti na type budovy a to aj v rámci jedného štátu. Niekde je stanovený jednotný cieľ pre úrady a školy (Región Brusel- hlavné mesto), zatiaľ čo inde (Rumunsko, Estónsko) je ten istý cieľ stanovený aj pre nemocnice. V dôsledku rozdielneho prístupu k výpočtu spotreby energie, rozdielných klimatických podmienok a rozdielov v typológii budov sa maximálna hodnota primárnej energie pre neobytné budovy pohybuje v širokom rozmedzí od 0 do 270 kWh/(m²·rok). Pri popise metódy, akou sa má energetická náročnosť budovy počítať, vymenúva EPBD hlavné faktory, ktoré majú byť do výpočtu zahrnuté. Sú nimi vykurovanie, príprava teplej vody, chladenie, vetranie a (hlavne pre neobytné budovy) svietenie. Iba zriedka je však pri obytných budovách započítavaná spotreba energie domácimi spotrebičmi

(napr. Rakúsko) či energia potrebná na pohon výtahov a eskalátorov v neobytných budovách (napr. Taliansko).

Veľa štátov stanovuje nezávisle na požiadavkách na spotrebu primárnej energie taktiež požiadavky na konečné použité množstvo energie na konkrétny úkon. Vo väčšine prípadov sa odvolávajú na konečné množstvo energie použitej na vykurovanie priestoru (Cyprus, Lotyšsko, Slovinsko, Región Brusel- hlavné mesto), prípadne na koeficient tepelnej priepustnosti budovy (Česká republika). V niektorých prípadoch (Dánsko, Región Brusel- hlavné mesto) sa do hodnotenia budovy zahŕňa aj jej vzduchotesnosť. V iných (Francúzsko, Dánsko, Brusel- hlavné mesto, Flámsky región v Belgicku) sú zase stanovené dodatočné požiadavky na výkon technických systémov v budove (vykurovacích, vetracích) aby sa znížilo riziko prehrievania. [3]

2.4 nZEB v Českej republike a na Slovensku

Ako je z predchádzajúcej kapitoly zrejmé, nie je zatiaľ možné zostaviť ucelený prehľad oficiálnych finálnych definícií nZEB pre všetky členské štáty. Je ale jasne viditeľné, že sa jednotlivé požiadavky na ne kladené budú medzi jednotlivými štátmi líšiť. Cieľom tejto podkapitoly je objasniť, čo tento pojem znamená pre Českú a Slovenskú republiku.

Slovenská republika si stanovila tri hlavné kritéria, na ktoré má v pláne sa zamerať a ktoré treba uplatňovať na dosiahnutie parametrov nZEB. Týmito kritériami sú zníženie dopytu po vykurovaní na minimum, redukcia spotreby primárnej energie na kúrenie, chladenie, vetranie, prípravu teplej vody a osvetlenie a do značnej miery pokrytie celkového dopytu po primárnej energii energiou z obnoviteľných zdrojov.

Slovensko rozdeľuje energiu podľa potreby na vykurovanie, osvetlenie, prípravu teplej vody, vetranie a celkovú potrebnú na prevádzku budovy. Tá je súčtom všetkých vyššie menovaných hodnôt. Stanovuje taktiež škálu energetických tried pre indikátor celkovej energetickej náročnosti pre odlišné typy budov. Maximálna hodnota primárnej energie je pre obytné budovy stanovená na 32 kWh/(m²·rok) pre bytové domy a 54 kWh/(m²·rok) pre rodinné domy. Pre neobytné budovy je to 34-96 kWh/(m²·rok).

Použité množstvo energie z obnoviteľných zdrojov je stanovené kvantitatívne. Malo by pokryť minimálne 50 % primárnej energie.

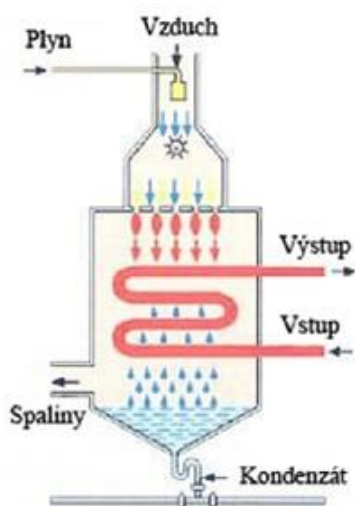
Definícia nZEB v Českej republike porovnáva konkrétnu budovu s referenčnou rovnakého typu, veľkosti, geometrie, orientácie atď. s predefinovanou konštrukciou a technologickými špecifikáciami. Hodnota energetickej náročnosti požadovaná pre nové nZEB je daná dvoma základnými črtami. Prvou je priemerná hodnota tepelnej priepustnosti obálky budovy, ktorá musí byť 0,7 násobkom hodnoty referenčnej budovy. Druhou je požiadavka na množstvo primárnej energie z neobnoviteľných zdrojov, ktoré má tvoriť 10-25 % referenčnej hodnoty v závislosti, na type budovy (pre obytné budovy je to 20-25 %, pre neobytné budovy 10 %). Pre niektoré typy budov platí nariadenie už skôr ako v roku 2020 (napr. pre verejné budovy väčšie ako 350m² od roku 2017, pre všetky nové budovy väčšie ako 1500m² od roku 2018. Pre už existujúce budovy platia tie isté požiadavky ako pre nové.[3,6]

3 Zdroje tepla

Cieľom nasledujúcej časti tejto práce je zosumarizovať a popísať typy vykurovacích zariadení v dnešnej dobe bežne dostupných na našom trhu, ktoré sa vo veľkej miere využívajú práve na vykurovanie rodinných domov. Budú taktiež spomenuté niektoré zariadenia, ktoré nemusia primárne slúžiť na výrobu tepla. Sú však v tomto kontexte nie len využiteľné, ale aj žiaduce. V prvej časti budú spomínané zariadenia popísané vo všeobecnosti a následne budú z nich vybraté tie, ktoré možno považovať za vhodné pre nZEB. V ďalšej časti bude navrhnutý modelový dom, pre ktorý budú na základe vstupných parametrov zvolené zdroje tepla na vykurovanie.

3.1 Kotel na zemný plyn

Spomedzi plynových kotlov je tento typ bezpochyby najšetnejší a teda aj najekologickejší.[9] Kondenzačný plynový kotel získava teplo pomocou spaľovania zemného plynu. Oproti iným plynovým kotlom sa líši v tom, že pracuje v tzv. režime kondenzácie vodnej pary obsiahnutej v spalínach, ktorý umožňuje využitie tepla s veľmi vysokou účinnosťou. Kotel využíva teplo obsiahnuté v spalínach na predhriatie tzv. spiatočky, teda vody ktorá sa po ochladení (na teplotu do 55°C) vo vykurovacom systéme vracia späť do kotla. Tá ochladí spaliny až na teplotu rosného bodu (tzv. bod kondenzácie), v čoho dôsledku sa uvoľní vo výmenníku kotla skupenské teplo kondenzácie vodnej pary. Takto predhriata voda vstupuje do kotla, kde sa dohreje na požadovanú teplotu. Tento typ plynového kotla je schopný pracovať s účinnosťou až 98%.[12] Jeho výkon je možné regulovať v rozmedzí od 10% menovitého výkonu až po samotný menovitý výkon. [12]



Obr. 4 Princíp fungovania kondenzačného kotla. [13]



Obr. 5 Kondenzačný kotel od firmy Viessmann.[14]

3.2 Kotel na biomasu

Ako už z názvu vyplýva, tento typ kotla získava tepelnú energiu pomocou spaľovania biomasy. Palivom pre tento typ kotla je kusové drevo, drevná štiepka, drevené peletky alebo brikety. Kotly môžu byť navrhnuté buď pre konkrétny typ paliva, alebo je možné spaľovať v jednom kotli rôzne typy palív. Podľa spôsobu spaľovania delíme kotly na roštové, práškové a fluidné, pričom v domácnostiach sa využívajú kotly roštové. Kotel ako taký je súčasťou vykurovacieho systému, ktorý zahŕňa okrem iného napr. akumulčný zásobník teplej vody, obehové čerpadlo či automatický podávací systém. Proces výroby tepla začína zapálením tzv. horáku, v čoho dôsledku začína horieť aj samotná biomasa. Ohriaty vzduch uniká smerom do komína, kde po ceste ohrieva vodu privedenú potrubím do vnútra kotla. Tá smeruje pomocou obehového čerpadla do zásobníka a následne do radiátorov či podlahového kúrenia. Výkon kotlov na biomasu je možné regulovať v rozmedzí od 30 do 100% menovitého výkonu. V poslednej dobe sa vďaka automatickému podávaniu paliva, čisteniu výmenníka tepla, pružným skladovacím systémom a iným, do značnej miery odstránila nevýhoda týchto kotlov, ktorou boli vyššie požiadavky na obsluhu zo strany používateľa ako v prípade iných vykurovacích zariadení.

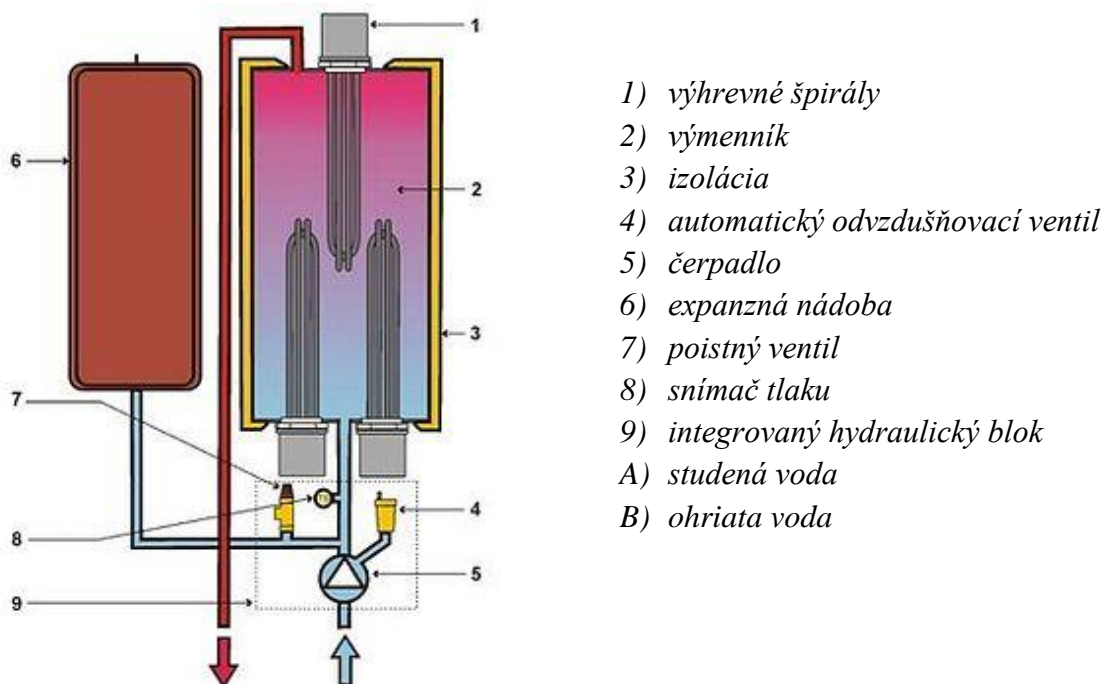


- 1 – Automatické čistenie plôch výmenníka tepla
- 2 – Lambda-sonda a snímač teploty spalín
- 3 – Závitkový dopravník popola z priestoru výmenníka
- 4 – Závitkový dopravník popola zo spaľovacej komory
- 5 – Pohyblivý rošt
- 6 – Turniketový podávač
- 7 – Zariadenie hasenia vodou
- 8 – Čidlo teploty v spaľovacej komore
- 9 – Bezpečnostný výmenník tepla

Obr. 6 Kotel na drevenú štiepku. [15]

3.3 Elektrický kotol

Jedná sa o typ kotla, ktorý priamo premieňa elektrickú energiu na teplo. Proces premeny elektrickej energie na teplo sa uskutočňuje pomocou elektrického odporu výhrevných špirál. Získané teplo je použité buď na ohrev vody na vykurovanie a do vodovodu, alebo na vyhrievanie priamoohrevných podlahových vykurovacích rohoží. Jedná sa o relatívne jednoduché zariadenie, pretože nepotrebuje nijaký systém na odvádzanie spalín či dodávanie objemného paliva. Kotol stačí jednoducho zapojiť do zásuvky alebo na elektrorozvádzač. Počiatočné investície pri takomto kotli nie sú vysoké, no následné výdavky na prevádzku sú výrazne vyššie ako pri iných druhoch kotlov.

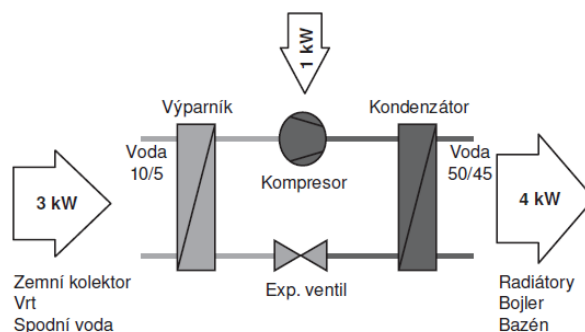


Obr. 7 Pracovná schéma elektrokotla.[16]

3.4 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (ďalej len „TČ“) je považované za jeden z alternatívnych zdrojov obnoviteľnej energie. Jedná sa o zariadenie, ktoré odoberá teplo okolitému prostrediu mimo budovy (zemi, vzduchu, vode), prevádza ho na vyššiu teplotnú hladinu a následne ho používa na vykurovanie a prípravu teplej vody. Skladá sa z dvoch častí. Tou prvou je vnútorná časť umiestnená vnútri budovy. Na prvý pohľad sa zásadným spôsobom nelíši od plynového kotla či ohrievača vody. Nemá nijaké zvláštne nároky na umiestnenie či veľkosť priestoru, v ktorom sa nachádza. Vnútorná časť zabezpečuje odovzdávanie tepla do vykurovacieho systému. Vonkajšia časť slúži na odoberanie tepla z okolia a líši sa podľa typu zdroja, z ktorého energiu odvádza (zem, voda, vzduch). Hlavným parametrom TČ je vykurovací faktor (COP z anglického „coefficient of performance“). Je to bezrozmerné číslo definované podielom množstva prijatej energie určenej na prevádzku zariadenia a množstvom vyprodukovaného tepla odovzdaného do vykurovacieho systému. Čím je tento faktor vyšší, tým je TČ účinnejšie a jeho prevádzka logicky finančne výhodnejšia. Bežne sa hodnota vykurovacieho faktora pohybuje v rozmedzí od 2,5 do 5. Pri veľmi kvalitných TČ a za optimálnych podmienok môže dosahovať až hodnotu 7. V niektorých situáciách však môže jeho hodnota klesnúť až na 2. Je teda závislý na aktuálnych prevádzkových podmienkach. Aby mal vykurovací faktor nejakého TČ naozaj výpovednú hodnotu, zavádza sa nasledujúca forma jeho zápisu: COP pri 0 °C / 35 °C je 4,5 podľa EN 14 511.

Princíp tepelného čerpadla je podobný chladničke. Tá odoberá teplo potravinám a uvoľňuje ho do okolia (miestnosti). Tepelné čerpadlo tým istým spôsobom odoberá teplo okoliu a dodáva ho vykurovaciemu systému. Z okolia odobraté teplo ohrieva kvapalinu, ktorá následne pokračuje do výparníka, kde sa nízkopotenciálne teplo odovzdá chladivu kolujúcemu vnútri zariadenia. To sa vďaka teplu vyparí a vzniknutý plyn je nasatý kompresorom. Ten stlačí ohriate chladivo, čím zvýši jeho teplotu na cca 80°C. Takto zohriate chladivo putuje do kondenzátoru, kde odovzdáva teplo vykurovacej vode. Z kondenzátoru putuje ďalej cez expanzný ventil, ktorý ho ochladí, do výparníka, kde sa opäť ohreje. Celý cyklus sa neustále opakuje. TČ obsahuje tzv. primárny okruh (časť zakopaná v zemi, prípadne ventilátor privádzajúci vonkajší vzduch) a sekundárny okruh (vykurovací systém).[17]



Obr. 8 Princíp práce tepelného čerpadla.[17]

3.4.1 TČ vzduch /voda

TČ tohto typu je veľmi univerzálne, v porovnaní s inými typmi cenovo dostupnejšie a vhodné takmer pre každý typ budovy. Ako už z predchádzajúceho textu vyplýva, zdrojom tepla pre toto TČ je vzduch mimo budovy. So znižujúcou sa vonkajšou teplotou klesá aj účinnosť TČ. Z tohto dôvodu je preň vhodná tzv. bivalentná prevádzka. Pri teplote nižšej, ako cca -4°C (jedná sa o bod bivalencie) je vhodné „dopomôcť“ TČ pomocným elektrickým kotlom. Najnižšou teplotou, pri akej ešte TČ dokáže pracovať, je približne -20°C . [17]



Obr. 9 TČ typu vzduch voda od firmy Daikin (vľavo vonkajšia jednotka, vpravo vnútorná jednotka). [18]

3.4.2 TČ voda / voda

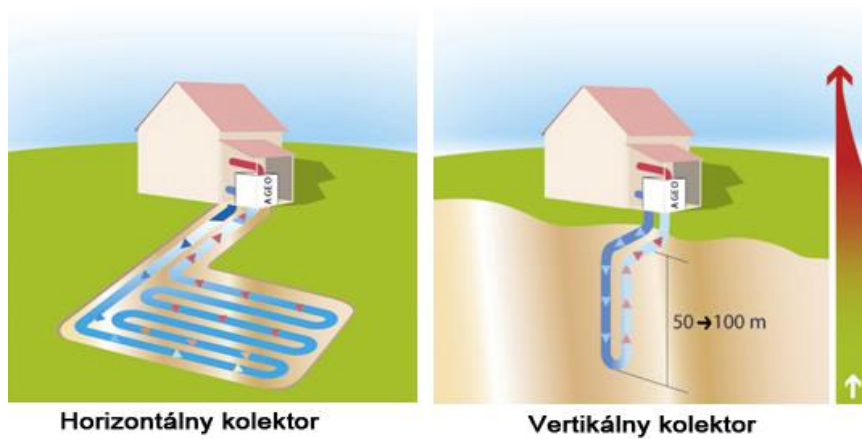
Tento typ TČ ponúka najvyšší vykurovací faktor, pretože odoberá teplo podzemnej vode, ktorá si drží stálu teplotu cca 10°C . Na prevádzku takéhoto TČ sú potrebné dve studne. Jedna zdrojová a druhá vsakovacia, pričom musia byť od seba vzdialené minimálne 15 m. Pre bežný rodinný dom je potrebná výdatnosť prameňa minimálne 0,5 l/s. Vhodných lokalít, ktoré by ponúkali takéto podmienky je málo, preto je tento typ TČ skôr raritou. [17]

3.4.3 TČ vzduch /vzduch

Tento typ TČ je podobný typu vzduch voda. Rozdiel spočíva v tom, že pri tomto type TČ odovzdáva vykurovací výkon vnútornému vzduchu budovy. Je vhodné pre budovy s požiadavkou na vykurovanie takmer počas celej vykurovacej sezóny (napr. chaty), alebo malé byty. Vnútorná jednotka ale vykuruje len miestnosť, v ktorej je umiestnená. [17]

3.4.4 TČ zem / voda

Jedná sa o najstabilnejšie zariadenie spomedzi menovaných a vďaka nezávislosti na vonkajších klimatických podmienkach je možné použiť ho takmer kdekoľvek. Taktiež pracuje v bivalentnej prevádzke (väčšinou v spolupráci s elektrickým kotlom), pričom bod bivalencie sa pohybuje pri cca $-6,5^{\circ}\text{C}$. Veľkou nevýhodou sú potrebné zemné práce, bez ktorých sa inštalácia tohto zariadenia nezaobíde. V závislosti od okolitého terénu, prípadne veľkosti pozemku majiteľa budovy sa volia buď zemné kolektory (označované aj ako horizontálne kolektory) alebo geotermálne vrty (horizontálne kolektory). Horizontálne kolektory sú finančne výhodnejšie ako geotermálne vrty ale je na ne potrebný pomerne veľký pozemok.



Obr. 10 Princíp horizontálnych kolektorov (vľavo) vs. princíp geotermálnych vrtov (vpravo).[19]

3.5 Kotol na tuhé fosílné palivá

V nadpise je schválne uvedené slovo „fosílné“, aby sa rozlíšili kotly na tuhé palivo využívajúce fosílné palivá a kotly využívajúce nefosílné palivá. Kotly na biomasu môžeme totižto taktiež považovať za kotly na tuhé palivo. Zásadným rozdielom je však obnoviteľnosť zdroja, ktorá výrazne mení energetickú náročnosť zariadenia a celej budovy. Medzi najpoužívanejšie energetické nosiče spaľované takýmto typom kotla sú čiernouhoľný koks, čierne uhlie a hnedé uhlie. Vychádzajúc z výhrevnosti, emisií CO_2 a faktoru primárnej energie, je možné považovať za najlepšieho adepta z menovaných čiernouhoľný koks.[9]

4 Porovnanie

Pri porovnávaní vhodnosti vykurovacích zariadení pre rodinné domy možno vychádzať z požiadaviek kladených Ministerstvom hospodárstva Slovenskej republiky na takmer nulové domy. Tie by od začiatku roka 2021 mali mať maximálnu potrebu primárnej energie 54 kWh/(m²·rok). Požiadavka na celkovú potrebu energie je rozdelená medzi jej dve zložky a to nasledovne: maximálne 42 kWh/(m²·rok) na vykurovanie a maximálne 12 kWh/(m²·rok) na prípravu teplej vody.

Dôležitým faktorom pri porovnávaní je faktor primárnej energie. Podľa najnovšej vyhlášky sú jednotlivým spôsobom transformácie energetických nosičov priradené hodnoty faktora primárnej energie podľa tabuľky 3.

Spôsob transformácie energetického nosiča	Faktor primárnej energie
Kotol na čiernouhoľný koks	1,1
Kondenzačný kotol na zemný plyn	1,1
Elektrický kotol	2,2
Kotol na drevené peletky	0,2
Kotol na drevnú štiepku	0,15
Kotol na kusové drevo	0,1
Tepelné čerpadlo ¹	0,44-0,88

Tab. 2 Hodnoty faktora primárnej energie priradené jednotlivým spôsobom transformácie energetického nosiča. [9]

Hodnota 54kWh/(m²·rok) je pomerne prísna, preto je vhodné použiť tie zdroje tepla, ktoré pracujú nízkym faktorom primárnej energie. Je teda jasné, že najvhodnejšími zdrojmi tepla pre nZEB budú kotly na biomasu alebo tepelné čerpadlá.

¹ Elektrická energia má sice faktor primárnej energie 2,2. Ak však TČ pracuje s COP 2,5-5, na výrobu 1kW tepla potrebuje 0,44-0,88 kW primárnej energie z neobnoviteľných zdrojov.

5 Rekuperácia tepelnej energie

Príprava teplej vody spolu s vykurovaním a chladením predstavuje energeticky najnáročnejšie procesy, ktoré sú na prevádzku budovy potrebné. Je teda logické, že rekuperácia tepla z odpadovej vody a vzduchu môže mať nezanedbateľný význam na ceste k nZEB. Existuje viacero rôznych typov rekuperačných zariadení. V tejto práci budú detailne popísané aspoň niektoré z nich.

5.1 Výmenník tepla do odpadového potrubia

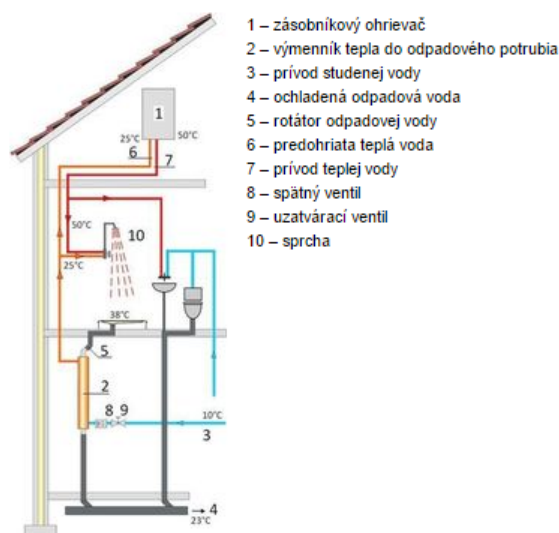
Jedná sa o medený dvojplášťový výmenník, ktorý sa inštaluje priamo do odpadového potrubia. Vnútrotný plášť je tvorený hladkým potrubím, ktorým preteká odpadová voda. Vonkajší plášť výmenníka je tvorený buď špirálou potrubí obtočených okolo vnútorného plášťa (na obrázku vľavo), alebo ďalším hladkým potrubím (na obrázku vpravo). Výmenník je protiprúdový. Vo vonkajšom plášti prúdi studená voda smerom do zmiešavacej batérie. Odpadová voda odtieká vnútorným potrubím, kde turbulentne prúdi vďaka rotátoru. Stenou vnútorného potrubia odovzdáva odpadová voda teplo studenej vode. Zariadenie nie je vhodné používať pod odtok z kuchynského drezu, pretože by sa mohli masti obsiahnuté v odpadovej

vode usadiť na vnútornej stene potrubia a zamedzovať správnej výmene tepla. Veľkou výhodou tohto zariadenia je, že na svoju prevádzku nespotrebuje elektrickú energiu. Účinnosť tohto zariadenia je prekvapivo vysoká. Podľa výrobcu



Obr. 11 Výmenník tepla do odpadového potrubia [20]

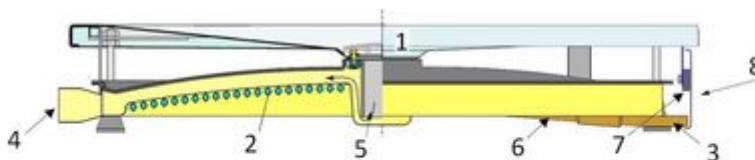
konkrétneho výrobku na obrázku je výrobok schopný pracovať s účinnosťou od cca 32 do 72 % v závislosti na konkrétnej variante modelu. [21] To potvrdzuje aj prehľad iniciovaný Kanadským ministerstvom prírodných zdrojov, ktorý bol vypracovaný nezávislými laboratóriami. [22] Cena takéhoto zariadenia sa pohybuje v rozmedzí od 515 do 1674 USD (približne 12 900 – 42 000 Kč). [23]



Obr. 12 Schéma zapojenia výmenníka tepla do kanalizačného potrubia. [20]

Sprchová vanička s integrovaným výmenníkom tepla

Rekuperčný systém tvorí vanička štandardnej výšky, pod ktorou sa nachádza výmenník tepla. Voda po prechode odtokom vyteká na vypuklú medenú platňu, pod ktorou sa výmenník nachádza. Ten je tvorený medenou špirálou o dĺžke 20 m. Výmenníkom prechádza studená voda, ktorá je predhrievaná teplom z odpadovej vody. Vo výmenníku sa nachádza menej ako 1 liter vody, preto je schopná zohriať sa pomerne rýchlo. [20] Takéto zariadenie je možné zaobstarat' si za £799.20 (takmer 25 000 Kč). Predajca udáva účinnosť do 50 %. [24]



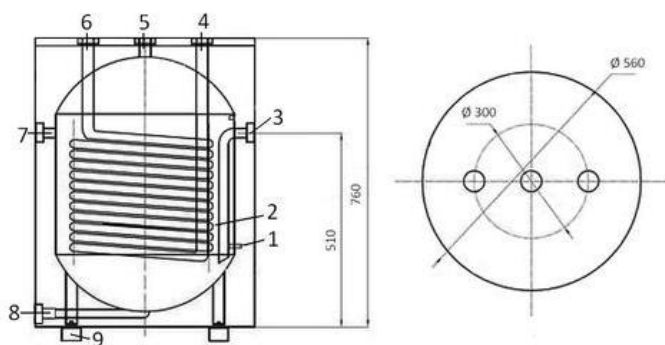
Obr. 7 Detail sprchovej vaničky s integrovaným výmenníkom tepla [2]:

1 – sprchová vanička, 2 – medený výmenník tepla, 3 – privod studenej vody,
4 – odvod ochladenej odpadovej vody, 5 – odtok odpadovej vody zo sprchovej
vaničky, 6 – predohriata teplá voda, 7 – magnet, 8 – čelná doska

Obr. 13 Detail sprchovej vaničky s integrovaným výmenníkom tepla [20]

5.2 Rekuperácia tepla z odpadovej vody s akumulácnou nádržou splaškovej vody s integrovaným výmenníkom

V akumuláčnej nádrži o objeme 120 l sa hromadí odpadová voda z viacerých zdrojov (sprchy, umývadlá, práčka). Do nádrže zabudovaný výmenník prúdi studená voda, ktorá sa predhrieva. Vonkajšia a vnútorná stena nádrže je z nerezovej ocele a oddeľuje ich 50 mm hrubá polyuretánová izolácia. Dĺžka integrovaného výmenníka je 20 m. Keďže odpadová voda nádržou nepreteká ale sa v nej akumuluje, nečistoty sa usádzajú na jej dne. Z tohto dôvodu treba nádrž pravidelne čistiť, aby nedošlo k zníženiu účinnosti výmenníka tepla. [20]



Obr. 13 Akumulačná nádrž s integrovaným výmenníkom tepla na akumuláciu odpadovej vody [4]:
1 – snímač teploty, 2 – výmenník tepla, 3 – odvod ochladenej odpadovej vody, 4 – predohriata
teplá voda, 5 – automatický odvzdušňovací ventil, 6 – privod studenej vody, 7 – privod splaškovej
vody, 8 – vypúšťacie potrubie, 9 – nastaviteľný podstavec



Obr. 14 Inštalácia akumuláčnej nádrže s integrovaným výmenníkom tepla [4]

Obr. 14 Akumulačná nádrž s integrovaným výmenníkom tepla na akumuláciu odpadovej vody. [20]

5.3 Rekuperácia tepla riadeným vetraním

Vetranie tradičným spôsobom, otvorením okien, má za následok značné tepelné straty. Prakticky celá energia použitá na ohrev vymeneného vzduchu sa uvoľňuje do okolitého prostredia. Z tohoto dôvodu je vhodné použiť v nZEB vetrací systém s rekuperáciou tepla. Ten funguje obdobne ako systém na rekuperáciu tepla z odpadnej vody. Znečistený vzduch putuje do výmenníka tepla, kde sa stretáva so vzduchom vstupujúcim sem z vonkajšieho prostredia. K ich priamemu kontaktu pochopiteľne nedochádza a teplo si vymieňajú cez steny lamiel výmenníka. Veľkou výhodou núteného vetrania je nie len úspora energie na vykurovanie (množstvo energie potrebné na prevádzku vetracieho zariadenia je zanedbateľné), ale aj eliminácia viacerých negatív klasického vetrania, ktorými sú prievan, znížený tepelný komfort bezprostredne po vyvetraní najmä počas zimných mesiacov či vnikanie nečistôt, prachu a peľu.



Obr. 15 Rekuperačná jednotka od firmy Regulus. [25]

Systém je možné zefektívniť pomocou tzv. zemného kolektoru. Ten je tvorený rozvodom potrubí v zemi umiestneným cca 2m pod povrchom. Takto umiestnený kolektor môže v zime slúžiť na predohrev studeného vzduchu pomocou tepla akumulovaného v zemi. V lete je zase možné využiť ho ako prirodzenú klimatizáciu. Vzduch v danej hĺbke si totiž udrží podstatne nižšiu teplotu ako ten na povrchu. [26]

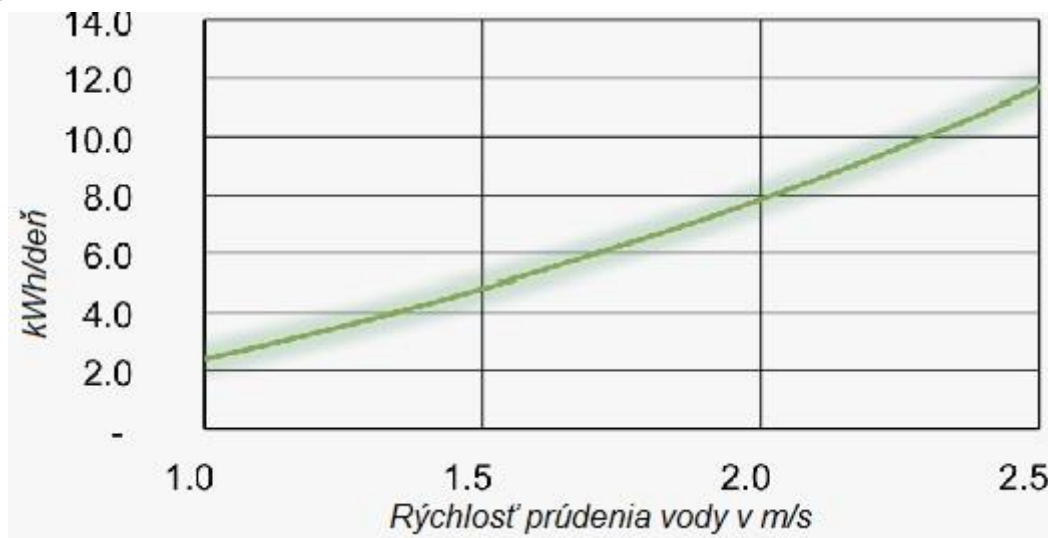
Účinnosť takéhoto zariadenia závisí na aktuálnych klimatických podmienkach a type rekuperátora. Za najefektívnejší sa dá považovať pravdepodobne vírivý protiprúdový rekuperačný výmenník, ktorý by mal dosahovať účinnosť až 85-95 %. [36]

6 Zariadenia slúžiace na výrobu elektrickej energie

Po zariadeniach slúžiacich na výrobu a rekuperáciu tepelnej energie je vhodné spomenúť aj tento typ zariadení. Neslúžia síce primárne na výrobu tepla, no nimi vyrobenou elektrickou energiou je možné poháňať napr. tepelné čerpadlo, vetrací systém či elektrické spotrebiče. Ich aplikácia v nZEB je teda bezpochyby opodstatnená.

6.1 Vodná turbína

Vodná turbína je akousi súkromnou domácou elektrárnou. Voda tečúca v rieke narážaním na jej lopatky roztáča generátor elektrickej energie, ktorou je možné zásobovať za určitých predpokladov jeden celý dom. Montáž turbíny nie je nijako náročná. V prípade vhodných podmienok sa jednoducho umiestni do rieky. Rieka musí byť aspoň 60 cm hlboká a rýchlosť prúdenia vody sa musí pohybovať v intervale od 1 do 3 m/s. Na rýchlosti prúdenia závisí aj množstvo elektrickej energie, ktoré je turbína schopná vyrobiť a to podľa nasledujúceho grafu.



Obr. 16 Graf závislosti množstva vyrobenej elektrickej energie na rýchlosti prúdenia vody.[27]

Okrem toho, že sa jedná o obnoviteľný zdroj energie, je veľkou výhodou vodnej turbíny aj jej využiteľnosť počas celého dňa. Nevýhodou je vysoká cena (cca 250 tis. Kč) a špecifické požiadavky na prostredie, v ktorom má byť použitá. [27]



Obr. 17 Vodná turbína od firmy Idénergie. [27]

6.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely nie sú na našom trhu žiadnou novinkou. Jedná sa o zariadenie, ktoré za pomoci fotovoltického javu vyrába elektrickú energiu. Pri dopade fotónov na polovodičový p-n prechod dochádza k uvoľňovaniu a hromadeniu voľných elektrónov. Ak je p-n prechod napojený na anódu a katódu, hovoríme o fotovoltickom článku, ktorým už môže pretekať elektrický prúd. Výkon takýchto zariadení sa udáva v kWp (výkon v kilowattoch pri maximálnom slnečnom žiarení). V našich zemepisných šírkach platí, že 1 kWp inštalovaného výkonu je schopný vyrobiť 1200 kWh elektrickej energie za jeden kalendárny rok. Pre rodinný dom je pravdepodobne najvýhodnejšou inštaláciou fotovoltických panelov s výkonom 2 kWp. Vyrobia približne 50 % spotreby elektrickej energie domu, z ktorej je dom schopný využiť cca 60 % a zvyšok putuje do siete. Výška celkovej investície je približne 110 tis. Kč.[28,29]



Obr. 18 Fotovoltaické panely na streche rodinného domu.[30]

Nevýhodou tohto typu panelov je fakt, že uhol pod ktorým na ne dopadajú slnečné lúče sa v priebehu dňa mení, od čoho závisí aj množstvo vyrobenej energie [31]. Práve preto je možné, že budú v budúcnosti nahradené panelmi so schopnosťou natáčania sa za slnkom. Jedným z prvých priekopníkov tohto typu panelov pre rodinné domy je firma Smartflower so svojim produktom rovnakého mena. Ten je údajne v našich zemepisných šírkach schopný vyrobiť približne 3500 kWh ročne, pričom zaobstarávacía cena dosahuje približne 380 tis. Kč. [32]



Obr. 19 Solárny panel smartflower.[32]

7 Budova ako celok

Táto práca sa síce zaoberá systémami zabezpečujúcimi tepelnú energiu pre budovy, no z hľadiska problematiky nZEB sa jedná len o časť problému. Aby vôbec nejaká budova splnila status nZEB, potrebuje popri vhodne zvolených vykurovacích zariadeniach aj vhodne navrhnutú obálku, materiály, tvar fasády a iné. To všetko musí zabezpečiť určitú hodnotu vzduchotesnosti a tepelnej prestupnosti. V prípade vhodného umiestnenia budovy v rámci pozemku a vhodne navrhnutého typu a tvaru fasády je možné využiť potenciál slnečného žiarenia ako zdroja tepla s maximálnou možnou účinnosťou. Centrála firmy Gumex v Nitre je toho dôkazom. Vďaka tvaru fasády využíva budova teplo zo slnečného žiarenia najmä v čase, keď je menej intenzívne (počas dopoludnia a podvečer). Naopak, počas jeho najväčšej intenzity (okolo poludnia) je interiér budovy v tieni, čo zabraňuje jej prehrievaniu.



Obr. 20 Centrála firmy Gumex.[33]

8 Návrh zdrojov tepla pre modelový dom

Cieľom záverečnej časti tejto práce je návrh zdrojov tepla pre modelový dom na základe parametrov obálky a požiadaviek kladených na budovy s takmer nulovou spotrebou energie. Za modelový dom bol zvolený fiktívny dvojpodlažný dom v tvare kocky s obytnou plochou 130 m^2 , plochou obalových konštrukcií 320 m^2 a celkovým objemom vzduchu 350 m^3 . V interiéri domu bola hodnota požadovanej teploty $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vonkajšia výpočtová teplota bola $-12 \text{ }^\circ\text{C}$. Pri samotnom návrhu sú postupne posudzované štyri rôzne koncepcie.

8.1 Návrh zdrojov tepla nZEB pre niektoré zo štátov EÚ

Už v úvode tejto práce bolo popisované, ako sa štáty Európskej únie vysporiadávajú s definovaním pojmu nZEB. Veľa z nich stanovilo pre nZEB podmienku, aby ich potreba primárnej energie z neobnoviteľných zdrojov dosiahla maximálne hodnotu $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Pri výpočte sa bude predpokladať, že súčiniteľ prechodu tepla nie je vyhláškou predpísaný.

Prvá koncepcia bude predpokladať súčiniteľ prechodu tepla $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Pri dosahovaní daného cieľa teda upustí od vysokých nárokov na obalové konštrukcie, čo vykompenzuje vhodne zvolenými výkonnými zariadeniami.

Vzorec pre výpočet celkových tepelných strát:

$$Q_C = Q_P + Q_V \quad [4]$$

Kde Q_C [W] sú straty celkové, Q_P [W] straty spôsobené prechodom tepla cez obalovú konštrukciu a Q_V [W] straty tepla spôsobené vetraním.

Ak predpokladáme, že sa objem vzduchu vymení 0,5-krát za hodinu, potom platí že:

$$Q_V = 0,5 \cdot V \cdot \rho_V \cdot c_V \cdot (t_P - t_V) \cdot \frac{1}{3600} \quad [4]$$
$$Q_V = 0,5 \cdot 350 \text{ m}^3 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) \cdot \frac{1}{3600} = \mathbf{2007 \text{ W}}$$

Straty spôsobené prechodom tepla cez obálku budovy vypočítame podľa vzťahu:

$$Q_P = U \cdot S \cdot (t_P - t_V) \quad [4]$$

$$Q_P = 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 320 \text{ m}^2 \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) = 8192 \text{ W}$$

$$Q_C = 8192 \text{ W} + 2007 \text{ W} = 10199 \text{ W}$$

Celková potreba energie na vykurovanie vypočítaná pomocou online kalkulačky predstavuje 31,6 MWh/rok (23,5 MWh na vykurovanie a 8,1 MWh na prípravu teplej vody). To pri obytnej ploche 130 m² predstavuje približne 243 kWh/(m²·rok). Zdroj, ktorý by vyššie uvedené požiadavky spĺňal by mal mať vykurovací výkon približne 11,2 kW (10,199 kW na vykurovanie a 1,07 kW na ohrev vody) a faktor primárnej energie maximálne 0,21. Riešením by mohol byť kotol pelletstar 10 od firmy Hertz na drevené peletky. Jeho výkon sa dá regulovať medzi hodnotami 4,8 a 16 kW. Faktor primárnej energie pre drevené peletky je podľa vyhlášky 0,2. Vykurovanie tepelným čerpadlom by bolo komplikované, pretože má faktor primárnej energie podstatne vyšší (za predpokladu, že odoberá elektrickú energiu zo siete), bolo by mu teda nutné dodávať veľkú časť energie z nejakého obnoviteľného zdroja, akým je napr. vodná turbína alebo fotovoltaičné panely.

Potreba energie na prípravu teplej vody je pre všetky koncepcie rovnaká. Podľa online kalkulačky predstavuje 8,1 MWh/rok (viď obr. 20). Pre prvú koncepciu postačuje navrhnutý kotol aj na ohrev vody. V prípade využitia maximálnej možnej hodnoty primárnej energie 50 kWh/(m²·rok) v modelovom dome s obytňou plochou 130 m² je schopný vyrobiť 32,5 MWh tepla. Potreba tepla na vykurovanie daného modelového domu je ale o 9 MWh nižšia. Je teda jasné, že ani po výrobe 8,1 MWh tepelnej energie na ohrev vody dom neprekročí hranicu 50 kWh/(m²·rok) primárnej energie.

Druhá koncepcia bude predpokladať súčiniteľ prechodu tepla $U = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Požiadavky na schopnosť obálky zadržiavať teplo v dome budú teda podstatne prísnejšie.

Výpočet celkových strát:

$$Q_P = 0,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 320 \text{ m}^2 \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) = 4096 \text{ W}$$

$$Q_V = 0,5 \cdot 350 \text{ m}^3 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) \cdot \frac{1}{3600} = 2007 \text{ W}$$

$$Q_C = 4096 \text{ W} + 2007 \text{ W} = 6103 \text{ W}$$

Celková potreba energie na vykurovanie a ohrev vody vypočítaná pomocou online kalkulačky predstavuje 21,7 MWh/rok (13,6 MWh na vykurovanie a 8,1 MWh na ohrev vody) čo je približne 167 kWh/(m²·rok). Keďže výkon potrebný na ohrev vody je podľa online kalkulačky približne 1,07 kW, zdroj tepla by teda mal mať výkon 7,1 kW a faktor primárnej energie maximálne 0,3.

Jednou z možností, ktorá sa ponúka je kotol na drevené peletky Vitoligno 300-C od firmy Viessmann s regulovateľným výkonom od 2,4 do 48 kW. Pracovať by teda musel pri spodnej hranici svojej výkonnosti.

Tepelné čerpadlo je pravdepodobne menej vhodnou voľbou. Ak by bolo použité napríklad TČ Aquarea KIT-WC07F3E5 typu vzduch-voda od firmy Panasonic s maximálnym

vykurovacím výkonom 7 kW, jeho COP udávaný výrobcom by bol 4,46. V takom prípade by mal faktor primárnej energie hodnotu približne 0,49. Výrazne by teda prevyšoval maximálnu dovolenú hodnotu. Tento problém by bolo možné napr. fotovoltaiickými panelmi od firmy Smartflower. Ak by TČ pracovalo s vyššie uvedeným COP 4,46, potrebovalo by na výrobu 21,7 MWh tepla približne 4,87 MWh (37,5 kWh/(m²·rok)) elektrickej energie zo siete. Keďže tá má faktor primárnej energie 2,2, predstavovalo by to 82,5 kWh/(m²·rok) primárnej energie, čo je nevyhovujúce. Ak by však časť energie pochádzala z fotovoltaiických panelov Smartflower, ktoré by mali byť schopné vyrobiť v našej zemepisnej šírke 3,5 MWh ročne, TČ by potreboval zo siete odobrať len zvyšných 1,37 MWh. To by predstavovalo 23,2 kWh/(m²·rok) primárnej energie.

Tretia koncepcia predpokladá súčiniteľ prechodu tepla $U = 0,2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Požiadavky na schopnosť obálky zadržiavať teplo v dome budú teda ešte prísnejšie ako pri predošlej koncepcii. Dom bude taktiež využívať vetrací systém s rekuperáciou tepla čím sa jeho straty znížia na minimum.

Ako už bolo v predošlej časti práce spomenuté, najúčinnnejšie vetracie systémy sú schopné pracovať s účinnosťou 85-95 %. Pri výpočte sa bude predpokladať systém s účinnosťou 90 %. To v praxi znamená, že z 2,007 kW stratenej energie pri vetraní bez rekuperácie sa ušetrí jej 0,9-násobok (1,806 kW).

Výpočet celkových strát:

$$Q_P = 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 320 \text{ m}^2 \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) = 2048 \text{ W}$$

$$Q_V = 0,5 \cdot 350 \text{ m}^3 \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot (293,15 \text{ K} - 261,15 \text{ K}) \cdot \frac{1}{3600} = 2007 \text{ W}$$

$$Q_C = 2048 \text{ W} + 0,1 \cdot 2007 \text{ W} = 2249 \text{ W}$$

Pri tejto koncepcii je potrebný zdroj tepla s výkonom do 3,3 kW (2,249 kW na vykurovanie a 1 kW na prípravu teplej vody). Pre tak nízky výkon súčasný trh neponúka mnoho možností. Potrebný výkon by bol schopný zabezpečiť kotol na drevené peletky Vitoligno 300-C od firmy Viessmann s regulovateľným výkonom od 2,4 kW. Ďalšou z možností je aj TČ F1255 typu zem-voda od firmy Nibe. Patrí do energetickej triedy A+++ a jeho výkon je regulovateľný v intervale 1,5- 6 kW.

Štvrtá koncepcia zvolí trochu odlišný prístup. Prvé dve koncepcie vykreslili tepelné čerpadlo ako menej vhodný zdroj tepla oproti kotlom na biomasu. V oboch prípadoch totiž potreboval, či už viac alebo menej výkonný, prídavný zdroj elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Tretia koncepcia síce uvažuje TČ, ktorého výkon začína už na 1,5

kW, no TČ s tak nízkym výkonom nie je na trhu veľa. Cieľom tejto koncepcie je zistiť, pri akom súčiniteli prechodu tepla a celkových tepelných stratách, je možné použiť TČ ako samostatný zdroj tepla bez potreby prídavného zdroja elektrickej energie. Na trhu sú bežne dostupné TČ spadajúce do energetickej triedy A++, ktorých výkon začína na hodnote 4-5 kW. Energetická trieda A++ znamená, že ich COP musí byť minimálne 4,6. [34] Na 1 kW tepla nimi vyprodukovaného teda spotrebujú približne 0,48 kW energie z neobnoviteľných zdrojov. S využitím 50 kWh/(m²·rok) energie z neobnoviteľných zdrojov sú teda schopné vyprodukovať približne 104 kWh/(m²·rok) tepla. Celková ročná potreba energie na vykurovanie a ohrev vody teda pri 130 m² predstavuje približne 13,5 MWh, z ktorých 8,1 MWh je potrebných na ohrev vody. Celkové tepelné straty sú teda podľa online kalkulačky približne 2,35 kW. Ak by dom využíval vetranie s rekuperáciou tepla, obálkou by mohlo unikáť približne 2,15 kW. S využitím vyššie uvedených vzorcov je možné vypočítať, že súčiniteľ prestupu tepla by v tomto prípade bol približne 0,21 W/(m²·K). Bez vetrania s rekuperáciou by zase musel klesnúť na hodnotu ďaleko menšiu. Rekuperácia tepla zo vzduchu je teda nevyhnutná. Zaujímavé by taktiež bolo využitie rekuperácie tepla z odpadnej vody. Výrobca výmenníka tepla do odpadového potrubia, ktorý bol v práci popisovaný, na svojej stránke tvrdí, že je možné ušetriť až 40 % energie potrebnej na ohrev vody. V takom prípade by z 13,5 MWh bolo na ohrev vody potrebnej len 4,86 MWh. Straty by teda mohli dosiahnuť hodnotu 3,7 kW. Ak by 3,5 smelo unikáť prechodom cez obálku, hodnota U by bola 0,34 W/(m²·K).

Lokalita (Tabulka)		<input checked="" type="radio"/> $t_{em} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$???	
Město	Brno	Délka topného období	$d = 222$ [dny]
Venkovní výpočtová teplota $t_e =$	-12 $^{\circ}\text{C}$	Prům. teplota během otopného období	$t_{es} = 3.6$ $^{\circ}\text{C}$

<input checked="" type="checkbox"/> Vytápění Tepelná ztráta objektu $Q_c = 2,35$ kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ $^{\circ}\text{C}$??? Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3641$ K.dny Opravné součinitele a účinnosti systému $e_i = 0.85$??? $\eta_o = 0.95$??? $e_t = 0.90$??? $\eta_r = 0.95$??? $e_d = 1.00$??? Opravný součinitel ε ??? <input checked="" type="radio"/> $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$ <input type="radio"/> $\varepsilon = 0.765$ $Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left(\begin{array}{c} 19.6 \text{ GJ/rok} \\ 5.4 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	<input checked="" type="checkbox"/> Ohřev teplé vody $t_1 = 10$ $^{\circ}\text{C}$??? $\rho = 1000$ kg/m ³ ??? $t_2 = 55$ $^{\circ}\text{C}$??? $c = 4186$ J/kgK ??? $V_{2p} = 0.328$ m ³ /den ??? Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$??? Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7$ kWh Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ $^{\circ}\text{C}$ Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ $^{\circ}\text{C}$ Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0.8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{c} 29.1 \text{ GJ/rok} \\ 8.1 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$
--	---

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody	
$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} =$	48.6 GJ/rok 13.5 MWh/rok

Obr. 21 Výpočet potřeby energie na vykurovanie a ohrev vody pomocou online kalkulačky. [35]

8.2 Návrh zdroja tepla nZEB pre Slovenskú republiku

Ako už bolo v práci spomenuté, vyhláška platná pre Slovenskú republiku zaväzuje nZEB spotrebovať maximálne $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ primárnej energie na vykurovanie a $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ na prípravu teplej vody. Ak by sme uvažovali napr. súčiniteľ prechodu tepla $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, celkové straty by predstavovali $7,13 \text{ kW}$ a celková ročná potreba tepla na vykurovanie $16,5 \text{ MWh}$. Pri uvažovanej obytnej ploche to činí $127 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Jedným z riešení by mohol byť už vyššie spomenutý kotol na drevené peletky Vitoligno 300-C od firmy Viessmann. Faktor primárnej energie $0,2$ mu umožňuje vyrobiť až 210 kWh s využitím 42 kWh energie z neobnoviteľných zdrojov. Je teda jasné, že ako zdroj tepla na vykurovanie bez problémov obstojí.

Maximálne potreba tepla na ohrev vody je na Slovensku presne stanovená hodnotou potreby energie z neobnoviteľných zdrojov na prípravu teplej vody. Podľa vyhlášky smie dosahovať maximálne hodnotu $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ (viď Porovnanie na str.23). To pri ploche modelového domu 130 m^2 predstavuje $1,56 \text{ MWh/rok}$. Navrhnutý kotol je schopný pracovať s faktorom primárnej energie $0,2$. S využitím $1,56 \text{ MWh/rok}$ energie z neobnoviteľných zdrojov dokáže vyrobiť $7,8 \text{ MWh/rok}$ tepla. Zvyšných $0,3 \text{ MWh}$ by bolo možné zabezpečiť napríklad využitím niektorého zo spomínaných rekuperačných zariadení.

9 Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zistiť, aké sú možnosti v oblasti vykurovania budov s takmer nulovou spotrebou energie a vzájomne ich porovnať.

Pred samotným riešením zadania práce bolo nevyhnutné zoznámiť sa s pojmom budova s takmer nulovou spotrebou energie. Jeho zadefinovanie a postupné zavádzanie do praxe nie je ničím prekvapivým. Znečistenie atmosféry našej planéty skleníkovými plynmi a následný skleníkový efekt spôsobujúci globálne otepľovanie je nepochybne jedným z najväčších problémov, ktorým musí ľudstvo v dnešnej dobe čeliť. Keďže budovy spotrebujú viac než 40 % vyrobenej energie v Európskej únii, majú nezanedbateľný podiel na množstve vyprodukovaných skleníkových plynov. Snaha znižovať energetickú náročnosť budov, ktorej súčasným vyvrcholením je budova s takmer nulovou spotrebou energie, je na základe vyššie uvedených skutočností nepochybne opodstatnená.

Samotná definícia nie je v celej EÚ jednotná. EÚ popisuje nZEB ako budovy s veľmi vysokou hodnotou energetickej výkonnosti, kde veľmi malé, prípadne takmer nulové množstvo energie potrebné na jej chod by malo byť pokryté z obnoviteľných zdrojov. Konkrétne znenie definícií pre jednotlivé členské štáty si majú štáty zadefinovať samé. Jednotlivé definície sa teda môžu viac či menej líšiť. Spoločný majú ale jeden faktor. Tým faktorom je maximálna potreba primárnej energie na vykurovanie a prípravu teplej vody (prípadne aj na iné úkony). Tá by mala vo väčšine prípadov dosahovať hodnotu maximálne 50 kWh/(m²·rok).

Pri rozhodovaní o tom, ktorý zdroj tepla je alebo nie je vhodný pre takmer nulové domy sa vychádzalo z vyššie uvedenej podmienky. Tá totiž zvýhodňuje obnoviteľné zdroje energie. V praxi to znamená, že s klesajúcim faktorom primárnej energie stúpa množstvo energie, ktoré budova môže reálne využiť. Keďže samotná hodnota maximálnej potreby primárnej energie je pomerne nízka, je nutné voliť zdroje tepla s čo najnižším faktorom primárnej energie. Medzi takéto zdroje patria kotly na biomasu a tepelné čerpadlá. Svoje opodstatnenie tu taktiež nachádzajú aj systémy na rekuperáciu tepla z odpadných vôd či vzduchu spolu so zariadeniami vyrábajúcimi elektrickú energiu, akými sú fotovoltacké panely či vodná turbína.

Aplikovateľnosť vyššie uvedených zariadení bola overovaná pomocou výpočtu pre modelový dom. Išlo o fiktívny dvojpodlažný dom v tvare kocky s obytnou plochou 130 m², plochou obalových konštrukcií 320 m² a celkovým objemom vzduchu 350 m³. Postupne boli posudzované viaceré varianty odstupňované podľa požiadaviek na tepelný odpor obálky. Bolo tak možné vzájomne porovnať dva rôzne prístupy, ktorými sa dá dosiahnuť nízka energetická náročnosť.

Jeden z prístupov uprednostňuje obálky z nízkym súčiniteľom prestupu tepla spolu s využitím vetrania s rekuperáciou, prípadne iných rekuperačných zariadení. Takto zvolený postup zaručuje veľmi nízke tepelné straty. Zdroj tepla musí mať preto aj patrične nízky výkon. Problémom je, že dnešný trh neponúka mnoho zariadení s tak nízkym výkonom. Jediným z riešení sa zdajú byť niektoré kotle či krby na biomasu, ktorých spodná hranica výkonnosti zodpovedá potrebnému výkonu zdroja tepla pre danú budovu.

Ďalší z prístupov nemá tak vysoké nároky na tepelný odpor obálky, čo vykompenzuje vhodne zvolenými zariadeniami zabezpečujúcimi tepelný komfort. Tu už trh ponúka dostatok kotlov na biomasu či tepelných čerpadiel. Kotly na biomasu sa pri posudzovaní faktora primárnej energie zdajú byť jasnou voľbou. S ich využitím bolo možné vo výpočtoch daný cieľ splniť bez problémov. Čo ale treba zdôrazniť, je ich neporovnateľne vyššia náročnosť na prevádzku a údržbu. Tepelné čerpadlo z tohto pohľadu naopak veľmi užívateľsky praktickou voľbou a preto si jeden z modelových výpočtov dal za cieľ zistiť pri akom súčiniteli prestupu tepla a celkových stratách je TČ vhodné ako samostatný zdroj tepla. Vo výpočte bolo uvažované TČ spadajúce pod energetickú triedu A++, ktorého ročný COP je minimálne 4,6. Pre zvolený modelový dom vyšli celkové straty 2,25 kW a hodnota $U = 0,21 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Treba ale zdôrazniť, že vetranie s rekuperáciou tepla je v tomto prípade nevyhnutné.

Za najlepšie riešenie považujem kombináciu viacerých systémov napr. na výrobu elektrickej energie (fotovoltaické panely, vodná turbína) v spolupráci s tepelným čerpadlom, zdroj tepla v spolupráci s rekuperáciou tepla zo vzduchu a odpadnej vody príp. kotol na biomasu pre veľmi chladné obdobie (keď je TČ menej účinné) v spolupráci s TČ pre prechodné obdobie (keď je účinnosť TČ podstatne vyššia).

Na záver je nutné dodať, že riešenie tejto problematiky bude v praxi určite zložitejšie ako v tejto práci použitý modelový výpočet. V praxi totiž treba brať do úvahy aj náklady spojené s kúpou konkrétneho zariadenia a jeho prevádzkou, ktoré v práci spomenuté nie sú. Výpočet taktiež počíta len s jednou požiadavkou na nZEB. Ako bolo v úvodnej časti popisované, niektoré z členských štátov stanovujú hneď viaceré požiadavky, medzi ktoré okrem maximálnej potreby primárnej energie patrí aj množstvo emisií CO_2 či maximálna celková potreba energie. To pravdepodobne povedie k uprednostneniu TČ v spolupráci s prídavným zdrojom elektrickej energie (zníženie emisií) a k snahe znížiť tepelné straty spomínanými spôsobmi (zníženie celkovej potreby energie).

10 Zoznam použitých zdrojov

- [1] EURÓPSKA ÚNIA. *Smernica európskeho parlamentu a rady 2010/31/EÚ z 19. mája 2010 o energetickej hospodárnosti budov (prepracované znenie)*. In: . Brusel: Európsky parlament a Rada Európskej únie, 2010, ročník 1, 153/13. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SK:PDF>
- [2] KABELE, Karel. Budovy s takmer nulovou spotrebou energie. *Asb.sk* [online]. 2015, , 1-10 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/tzb/energie/budovy-s-takmer-nulovou-spotrebou-energie>
- [3] NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS DEFINITIONS ACROSS EUROPE [online] [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_a_cross_Europe.pdf
- [4] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: princípy a príklady*. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-1101-x.
- [5] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. Nové požadavky na hodnotení energetickej náročnosti budov od 1. dubna 2013. *Tzbinfo*[online]. 2013, , 1-8 [cit. 2017-05-24]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [6] GROEZINGER, Jan, BOERMANS, Thomas, JOHN, Ashok, SEEHUSEN, Jan, WEHRINGER Felix, SCHERBERICH, Martin. *Overview of Member States information on NZEBs*. Working version of the progress report - final report. [online] 2014-08-10 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Updated_progress_report_NZEB.pdf
- [7] Součinitel prostupu tepla.[online] [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [8] UNITED NATIONS. *Paris agreement*. [online] [cit. 2017-03-18] Dostupné z: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- [9] SLOVENSKO. Vyhláška č. 234 z dňa 30. októbra 2016 o energetickej hospodárnosti budov a zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. In: *Zbierka zákonov Slovenskej republiky*. [online] Dostupná tiež z: https://www.slovlex.sk/static/pdf/2016/324/ZZ_2016_324_20170101.pdf
- [10] Nízkoenergetické domy Nesbau: nízkoenergetický dom Nižná Kamenica.[online] [cit. 2017-03-20] Dostupné z: <http://www.nesbau.sk/spotreba/spotreba-nizkoenergeticky-dom-nizna-kamenica>
- [11] Createrra: pasívny dom Senec. [online] [cit.2017-03-20] Dostupné z: <http://www.createrra.sk/page/38/pasivny-dom-senec.html>
- [12] Ako funguje kondenzačný kotol. In: *viessmann.sk* [online] © Viessmann Werke GmbH & Co. KG [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.viessmann.sk/sk/informacie-pre/ako-funguje-kondenzacny-kotol.html>

-
- [13] Je kondenzačný kotol správnou voľbou? In: *energia.sk* [online] © 2010-2017, posledná aktualizácia 2016-10-06 [cit. 2017-03-24] Dostupné z: <http://energia.dennikn.sk/poradime-vam/zemny-plyn-a-ropa/je-kondenzacny-kotol-spravnou-volbou/4644/>
- [14] Pohodadomova.sk: kondenzačný kotol Viessmann vitodens. [online] [cit. 2017-03-25] Dostupné z: <http://www.pohodadomova.sk/viessmann-vitodens-kotly-na-uk/viessmann-vitodens-200-w-35kw-kondenzacny-kotol-b2ha074/>
- [15] Ptáček: kotly na biomasu. [online] [cit. 2017-03-27] Dostupné z: <http://www.dotacie-ptacek.sk/kotly-na-biomasu/>
- [16] STRAKOVÁ, Renata. Inovovaná řada elektrokotlů Protherm. In: *tzb-info.cz* [online] 2002-04-22 [cit. 2017-03-28] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/961-inovovana-rada-elektrokotlu-protherm>
- [17] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [18] Daikin představuje nové nízkoteplotní tepelné čerpadlo Daikin Altherma vzduch – voda. [online] 2012-07-25 [cit. 2017-03-30] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8862-daikin-predstavuje-nove-nizkoteplotni-tepelne-cerpadlo-daikin-altherma-vzduch-voda>
- [19] Aký typ tepelného čerpadla vybrať? [online] [cit. 2017-04-02] Dostupné z: <http://www.wintner.sk/rady-tipy/aky-typ-tepelneho-cerpadla-vybrat/>
- [20] PERÁČKOVÁ, Jana. Jak využít teplo z kanalizace na přípravu teplé vody v budovách? In: *tzb-info.cz* [online] 2014-10-06 [cit. 2017-04-05] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/11807-jak-vyuzit-teplo-z-kanalizace-na-pripravu-teple-vody-v-budovach>
- [21] Save energy, save money, protect the environment. *Renewability* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.renewability.com/residential.html>
- [22] ARCHIVED - List of Drain-Water Heat Recovery Systems. *Natural Resources Canada* [online]. 2014 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/housing/home-improvements/12356>
- [23] Power-Pipe® Canadian & US Order Form. *Renewability* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://www.renewability.com/order_powerpipe_online.html
- [24] Recoh-tray. *Make-green* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.make-green.co.uk/products/recoh-tray>
- [25] Rekuperačná jednotka Sentinel Kinetic B. *Intel-dom-eshop* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.intel-dom-eshop.sk/rekuperacia-sentinel-kinetic-B>
- [26] Rekuperácia a efektívne vetranie. *Viessmann* [online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.viessmann.sk/sk/informacie-pre/rekuperacia-a-efektivne-vetranie.html>
- [27] Power production: Energy production. *Idénergie* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://idenergie.ca/en/power-production/>
-

-
- [28] Fotovoltaika v praxi (4): výkon fotovoltaickej elektrárne pre rodinný dom. *Šetri* [online]. 2014 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.setri.sk/fotovoltaika-v-praxi-4-vykon-fotovoltaickej-elektrarne-pre-rodinny-dom/>
- [29] Fotovoltaika cena (5): návratnosť fotovoltaickej elektrárne. *Šetri* [online]. 2014 [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.setri.sk/fotovoltaika-v-praxi-5-navratnost-fotovoltaickej-elektrarne-fotovoltaika-cena/>
- [30] Solárne fotovoltaické panely: nižšie náklady aj s dotáciou od štátu. *Zdravé bývanie* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.zdrave-byvanie.com/solarne-fotovoltaicke-panely-nizsie-naklady-aj-s-dotaciou-od-statu/>
- [31] MEDVEĎ, Dušan. Možnosti zvýšenia účinnosti fotovoltaických panelov. In: *Elektroenergetika* [online]. 4. Košice, 2011, s. 4 [cit. 2017-04-22]. ISSN ISSN 1337-6756.
- [32] Čistá energie pro Váš každodenní život. *Smartflower* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.smartflower.com/cz/smartflower>
- [33] Centrála firmy Gumex Slovakia v Nitre. *Archinfo* [online]. [cit. 2017-04-25]. ISSN ISSN 1339-9748. Dostupné z: <https://www.archinfo.sk/diela/architektura/centrala-firmy-gumex-slovakia-v-nitre.html>
- [34] EURÓPSKA ÚNIA. *Nariadenia: Delegované nariadenie komisie EÚ*. In: . Brussel, 2011, 626/2011. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0626&from=en>
- [35] *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. In: . [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [36] *Atrea* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.atrea.sk/sk/rodinne-domy-sk>
-

11 Zoznam použitých skratiek a symbolov

Značka	Rozmer	Názov
COP	-	koeficient výkonnosti
c_v	$J/(kg \cdot K)$	merná tepelná kapacita vzduchu
n_{50}	h^{-1}	celková intenzita výmeny vzduchu
Q_C	W	celkové tepelné straty budovy
Q_P	W	tepelné straty spôsobené prechodom tepla cez obálku
Q_V	W	tepelné straty spôsobené výmenou vzduchu
S	m^2	celková plocha obalových konštrukcií
t_P	K	vonkajšia výpočtová teplota
t_V	K	vnútorná výpočtová teplota
U	$W/(m^2 \cdot K)$	súčiniteľ prestupu tepla obálkou
V	m^3	je objem vnútorného vzduchu meranej budovy alebo meranej ucelenej časti budovy
V_{50}^*	m^3/s	objemový tok vzduchu pri tlakovom rozdieli 50 Pa
ρ_v	kg/m^3	hustota vzduchu